

Trabajo Robots Móviles

Drones y Robots Voladores



Francisco de Asís Penalva Martínez

Raquel Salcedo Salcedo

Francisco García Gómez

Miguel Angel Torá Asensio

Índice

- 1. Introducción**
- 2. Estado del arte**
- 3. Tipos y ejemplos**
- 4. Hardware**
- 5. Algoritmos**
- 6. Aplicaciones y desarrollo en el futuro**
- 7. Conclusiones**
- 8. Referencias**

1. Introducción

En los últimos años, la tecnología de drones y robots voladores ha experimentado un rápido desarrollo, lo que ha llevado a una amplia gama de aplicaciones en diversos campos, desde la vigilancia y el seguimiento de personas y animales, hasta la entrega de paquetes y la realización de tareas de inspección en industrias como la agricultura, la construcción, y la minería.



Figura 1: Dron de precisión trabajando en el sector de la agricultura.

En este trabajo se analizará en profundidad el desarrollo y las tendencias actuales en la tecnología de drones y robots voladores, abarcando tanto el hardware, como el software y los algoritmos necesarios para el control y la planificación de la navegación de estos dispositivos. Se discutirán los desafíos y limitaciones actuales en el campo, así como las oportunidades y aplicaciones potenciales para el futuro.

Además, el trabajo también se centrará en las políticas y regulaciones existentes en torno al uso de drones y robots voladores, incluyendo las implicaciones para la privacidad y seguridad pública. A través de una revisión exhaustiva de la literatura y estudios de casos específicos, este trabajo proporcionará una comprensión completa y actualizada de la tecnología de drones y robots voladores y su impacto en la sociedad.

2. Estado del arte

En la actualidad la industria de los drones sigue evolucionando al mismo tiempo que hace el resto de la industria tecnológica, lo que al principio sólo comenzó siendo un proyecto militar durante la I Guerra Mundial se ha extendido hasta tal punto que se puede decir que es una de las más importantes de las últimas décadas.

Por otro lado cabe destacar que ya no solo se limita al sector militar, sino que también juega un papel importante en los ámbitos comercial, de investigación y recreativo. Aunque se goza de cierta libertad para tener un dron personal hay ciertas limitaciones relacionadas con el peso de los artefactos para no necesitar licencia con el fin de utilizarlos (generalmente el peso tiene que estar entre 25-250 kg).

Ha habido muchos avances a destacar a lo largo de la historia, pero durante las dos últimas décadas se ha acentuado notablemente, a continuación se encuentran algunos de los acontecimientos clave:

- En 2002, se dio la primera operación policial en Estados Unidos basada en drones.
- En 2006, la FAA emitió los primeros permisos comerciales de drones.
- En 2010, una compañía francesa creó el primer dron controlado con un teléfono inteligente conectado a través de WI-FI.
- En 2016, se fabricó el primer dron con visión inteligente y tecnología de aprendizaje automático (con el objetivo de volar evitando obstáculos).
- Desde julio de 2018, ha registrado 97 nuevas patentes de drones en la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. De acuerdo con la investigación de la firma de contabilidad BDO, en el mismo período, Amazon registró 54 ideas de productos.
- En 2019, en la conferencia de MARS, Amazon presentó la nueva versión del dron mensajero de su servicio Prime Air (que también realizará entregas posteriormente).
- En la actualidad también han sido utilizados en eventos importantes para captar imágenes en partidos de fútbol, festivales, conciertos, etc...

Los drones llegaron para quedarse. Como hemos podido comprobar, los usos aumentan cada día de la mano de la población civil y científica. Estamos siendo partícipes de la creatividad en funciones y aplicaciones de este aparato, las cuales parecen realmente infinitas.

Probablemente, gracias al avance de la tecnología, algún día estas naves nos permitirán explorar zonas fuera del planeta.

3. Tipos y ejemplos

3.1. Tipos

Los robots voladores o drones se pueden clasificar de distintas formas, según el criterio que se emplee para ello. De esta forma, según el tipo de alas se distinguen:

- Ala fija: son aquellos que se mantienen en el aire gracias a su aerodinámica. Su diseño es muy similar al de los aviones. Se usan principalmente para mapeado de grandes superficies, ya que gozan de gran autonomía.
- Alas rotatorias: conocidos también como multirrotores, son los más extendidos actualmente. Aterrizan y despegan de forma vertical y logran sus sustentación por medio de las hélices impulsadas por motores, ubicados en cada uno de sus brazos. Son muy estables, y pueden incluir cámaras, por lo que se usan para todo tipo de tareas. Según el número de motores se pueden clasificar en tricópteros, cuadricópteros, helicópteros, octocópteros.

Por otro lado, según la normativa vigente dictaminada por la EASA (Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea) existen 6 tipos de drones de acuerdo a diferentes características como su masa máxima al despegue (MTOW). Las clases van desde la C0 a la C6. A continuación se describe brevemente cada una de ellas.

- Clase C0: su MTOW es de 250 gramos y su velocidad de vuelo no debe ser superior a 19 m/s.
- Clase C1: su peso debe ser inferior a 900 gramos pero superior a 250 g y su velocidad no debe superar los 19 m/s. Deben contar con un sistema de recuperación de forma segura, deben estar equipados con luces para su visualización de noche y deben estar marcados con un número de serie único.
- Clase C2: su MTOW es de 4 kg. A parte de los sistemas de la clase anterior debe disponer de una función de baja velocidad, con un límite menor de 3 m/s y deben contar con un enlace de datos protegido ante interferencias.



Figura 2. Dron clase C2

- Clase C3: su peso no debe superar los 25 kg. Su dimensión más larga no puede superar los 3 metros de longitud.
- Clase C4: no pueden superar los 25 kg. No dispone de modo de vuelo automático, a excepción del sistema de estabilización en caso de desconexión.
- Clase C5: su MTOW debe ser inferior a 25 kg. No deben ser drones de ala fija, debe ofrecer información clara sobre la altitud de vuelo, debe contar con un sistema de baja velocidad, cuyo límite no supere los 5 m/s. Y, debe disponer de una estación de control y sistema de aviso de batería baja.
- Clase C6: su peso no debe superar los 25 kg. Su velocidad máxima es de 50 m/s.

También se pueden clasificar según el método de control:

- Autónomo: no necesitan que haya un piloto remoto controlando el vuelo. Están equipados con sistemas que le permiten planificar rutas y que el vuelo esté completamente programado.
- Control remoto: dirigido por un piloto mediante un radio control.
- Supervisado o monitorizado: pueden realizar tareas de forma autónoma, siempre bajo la supervisión de un piloto. Están a caballo entre los autónomos y los dirigidos por radio control.

3.1. Ejemplos

- P-KIT



Figura 3. Dron P-KIT

Características generales:

- Dron de ala rotatoria.
- Se utiliza especialmente para agricultura de precisión.
- Capacidad máxima de hasta 10 litros.
- Ejemplo de uso: polinización asistida del nogal.

- DELAIR UX11.



Figura 4. Dron Delair UX11

Características principales:

- Ejemplo de dron de ala fija.

- Es un dron para mapeo profesional.
- Tiene una velocidad máxima de 54 km/h.
- Rango de alcance de 53000 metros.
- Precio muy competitivo.

4. Hardware.

El **hardware** de los drones y robots voladores se compone de una variedad de componentes críticos que juntos permiten al dispositivo volar, navegar y realizar sus tareas designadas. Uno de los componentes más importantes es el sistema de propulsión, que incluye motores, hélices o alas y baterías y/o combustible. Los motores deben proporcionar suficiente potencia para sostener el dispositivo en el aire, mientras que las hélices deben proporcionar la fuerza necesaria para desplazar en diferentes direcciones o en caso de usar alas deben mantener estable al dron y permitirle realizar giros y ascender/descender. El uso de baterías es esencial para proporcionar energía a los motores y el resto de los componentes.

El sistema de control de vuelo es otro componente crítico en el hardware de los drones. Este sistema incluye una variedad de sensores y dispositivos de control que permiten al dispositivo mantener un vuelo estable, evitar obstáculos y realizar tareas de navegación autónoma. Los sensores utilizados en el sistema de control de vuelo pueden incluir acelerómetros, giroscopios, magnetómetros y cámaras.

El sistema de comunicación también es un componente crítico en el hardware de los drones. Este sistema permite la transmisión de datos entre el dispositivo y una estación base, y también puede permitir la comunicación entre varios dispositivos de manera simultánea. Puede incluir radiofrecuencia, Bluetooth, WiFi y sistemas de comunicación celular.

Además de estos componentes críticos, el hardware de los drones y robots voladores también puede incluir una variedad de otros componentes y dispositivos, como cámaras, sistemas de alimentación, dispositivos de grabación de datos, y sistemas de armas y defensa todo esto claro dependiendo del uso que se les quiera dar. Es importante señalar que dependiendo del uso específico del drone o robot volador, su hardware puede variar significativamente. Por ejemplo, un dron utilizado para la fotografía aérea puede tener una cámara de alta resolución instalada, mientras que un dron utilizado para la inspección industrial puede tener una cámara térmica o un escáner láser incorporado.

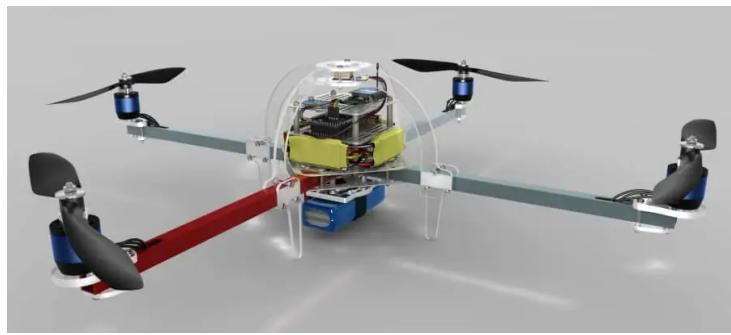


Figura 5: Dron con componentes visibles.

5.Algoritmos.

Uno de los problemas más complejos del mundo de la robótica es la navegación autónoma de un robot, y más en robots voladores ya que cualquier incidente puede hacer que el robot se acabe chocando contra el suelo. El problema se resuelve mediante el uso de algoritmos de planificación de ruta eficientes que calculan una trayectoria eficiente para llegar de un punto a otro mientras se evitan los obstáculos.

Los algoritmos son una parte esencial de los drones y robots voladores, ya que permiten que estos dispositivos realicen tareas complejas de manera autónoma. Existen una variedad de algoritmos que se utilizan en estos dispositivos, cada uno con un propósito específico.

Existen varios algoritmos comúnmente utilizados para la navegación de drones, algunos de los cuales incluyen:

1. Algoritmos de control de estabilidad: Estos algoritmos se utilizan para mantener el equilibrio y estabilidad del drone durante su vuelo. Pueden incluir controladores PID (proporcional-integral-derivativo) o controladores LQR (linear-quadratic regulator).
2. Algoritmos de planificación de ruta: Estos algoritmos determinan la mejor ruta para el drone para llegar a su destino, teniendo en cuenta factores como el terreno, la velocidad y la seguridad. Pueden incluir algoritmos como Dijkstra, A *, o RRT (Rapidly-exploring Random Trees).
3. Algoritmos de evitación de obstáculos: Estos algoritmos permiten que el drone evite colisiones con obstáculos en su entorno, ya sea mediante una detección de sensores o mediante un planificación de ruta modificada. Pueden incluir algoritmos como el algoritmo de evitación de obstáculos para sistemas dinámicos (OCSD) o el algoritmo de evitación de obstáculos basado en campo potencial (PFOA).

4. Algoritmos de seguimiento de objetos: Estos algoritmos permiten al drone seguir y mantenerse cerca de un objeto o persona específica. Pueden incluir algoritmos como el seguimiento de Kalman o el seguimiento de objetos basado en el modelo de partículas.
5. Algoritmos de aprendizaje automático y visión por computadora: En los últimos años, estos algoritmos se están utilizando con cada vez más frecuencia en la navegación de drones, especialmente para aplicaciones como el seguimiento de objetos, la detección de obstáculos y la toma de decisiones autónomas.

Es importante destacar que, dependiendo del tipo de drone y su aplicación, se puede requerir un conjunto diferente de algoritmos y técnicas para lograr una navegación precisa y segura.

A continuación, en los siguientes apartados, se profundizará más en cada uno de los diferentes algoritmos y en qué aplicaciones de la industria es mejor utilizarlos.

5.1. Algoritmos de control de estabilidad.

Para el control de vuelo para drones las estrategias más comunes son el modo estable y el modo acrobático.

- MODO ACROBÁTICO

En este modo de control solo se utilizan las medidas tomadas por el sensor de la velocidad angular. La velocidad se mide en '°/s', es decir, cuántos grados rota cada eje por segundo.

Si el eje pitch de nuestro drone rotara por cualquier razón, por ejemplo porque hay viento y entonces uno de los motores tiene más potencia, el modo control tendrá que contrarrestar esta desviación actuando sobre los motores correspondientes. En este caso, habría que acelerar los motores de la izquierda y decelerar los motores de la derecha. De esta forma se consigue contrarrestar el efecto de la perturbación que ha hecho que nuestro drone rotara en su eje pitch. Pero, en modo acrobático, el drone no volverá a su posición inicial, simplemente compensaremos la rotación hasta detener el drone. Esto es debido a que únicamente se utiliza como referencia la velocidad de rotación de los ejes. Para realizar esto, es necesario un controlador PID.

Dicho todo esto la secuencia de órdenes, que se repetirá con un periodo t (ms), por el drone serían:

1. El procesador del drone pide lecturas al sensor para calcular las velocidades de rotación en los ejes roll, pitch y yaw.
2. El sensor responde con sus lecturas y se realizan los cálculos de velocidad angular en °/s.
3. Con estas lecturas y las consignas que recibimos desde el mando, los PID calculan el error y cuanto acelerar o decelerar cada motor para compensarlo.
4. Vuelta al paso 1.

El loop se ejecutará periódicamente y cada vez que haya una interrupción hardware se leerán los ángulos que transmite el mando RC (órdenes que da el humano). A este proceso se le llama ‘Lazo de control’. Es muy importante tener en mente que este lazo de control se ejecutará una y otra vez cada periodo t , establecido previamente.

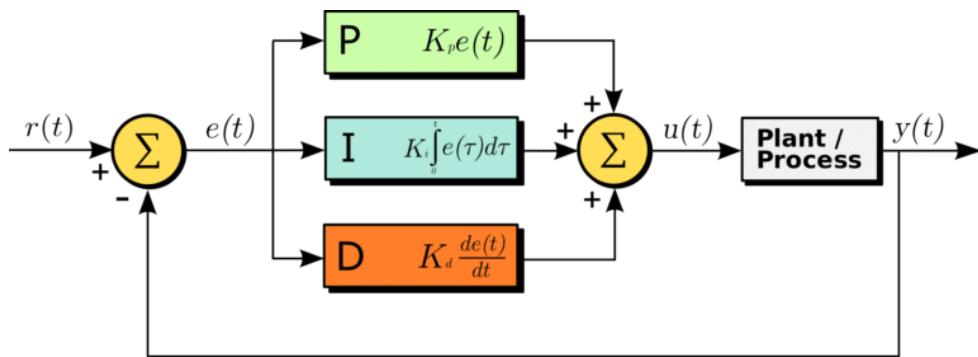


Figura 6: Diagrama de bloques del controlador PID.

El objetivo de un PID es conseguir un error entre la consigna de velocidad y la velocidad real de 0 °/s (metros, grados... según la aplicación), es decir, que la velocidad de rotación real sea igual a la consigna de cada ángulo que llega desde el mando en todo momento.

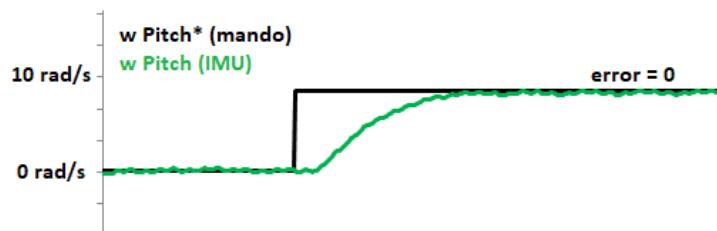


Figura 7: Corrección del ángulo pitch de la consigna frente al real.

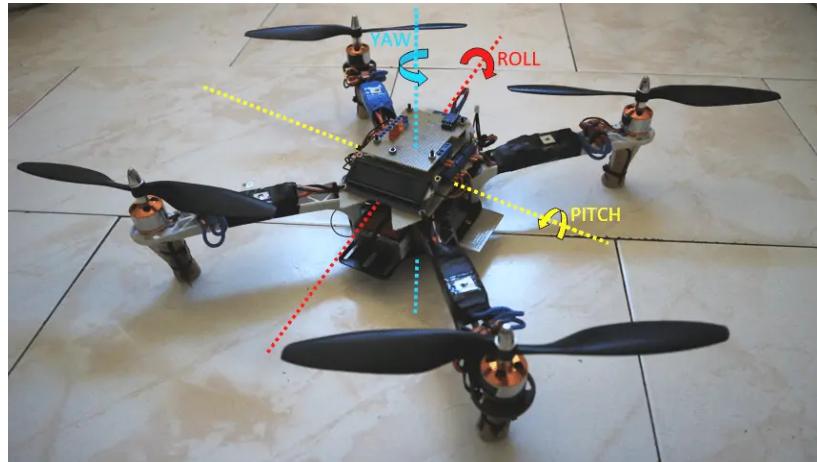


Figura 8: Ángulos yaw, pitch y roll de un drone.

- MODO ESTABLE

Este modo necesita de dos PID en cascada por cada eje a controlar, además de lecturas de velocidad de rotación y aceleración del sensor a partir de los cuales calcular el ángulo de inclinación de cada eje en grados ($^{\circ}$). La ventaja de este modo de vuelo es que el drone es completamente estable y por lo tanto mucho más fácil de manejar. Al contrario que en el modo acrobático, cuando se suelta alguna de las palancas del mando RC, el drone volverá automáticamente a su posición de 0° de inclinación. La consigna que mandamos desde el mando es de grados de inclinación ($^{\circ}$), no de velocidad ($^{\circ}/s$) como en el modo acrobático.

El funcionamiento de esta estrategia es que si detectamos una inclinación, se le ordena al drone que gire en dirección contraria a una velocidad determinada hasta contrarrestar esta inclinación, esto lo hace gracias a los dos controladores PID que tienen en cada uno de sus ejes.

Dicho todo esto la secuencia de órdenes, que se repetirá con un periodo t (ms), por el drone serían:

- Arduino pide lecturas de velocidad angular y aceleración en los tres ejes al sensor.
- El sensor responde con sus lecturas y se realizan los cálculos de velocidad angular ($^{\circ}/s$) e inclinación ($^{\circ}$).
- Con las lecturas de inclinación y las consignas que recibimos desde el mando, el primer PID calcula el error de inclinación y genera la consigna de velocidad para contrarrestarla.
- El segundo PID toma esta consigna del lazo exterior y con la lectura de velocidad, genera la salida en microsegundos para enviar a los motores. Los

motores aceleran y contrarrestan la desviación de velocidad, que a la vez está contrarrestando la desviación en la inclinación.

- Vuelta al paso 1.

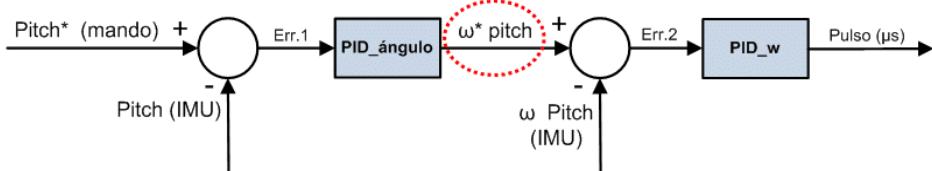


Figura x: Diagrama de bloques de los PIDs para el modo estable.

5.2. Algoritmos de planificación de ruta.

Los algoritmos de planificación de ruta son una clase de algoritmos que se utilizan para calcular una trayectoria segura y eficiente para un robot o un vehículo autónomo para llegar a un punto de destino específico. Estos algoritmos son ampliamente utilizados en aplicaciones de robótica, automóviles autónomos, drones y navegación marítima. Algunos ejemplos de algoritmos de planificación de ruta son:

- ALGORITMO DE DIJKSTRA

El algoritmo de Dijkstra es un algoritmo de búsqueda de grafos que se utiliza para encontrar el camino más corto entre dos puntos en un grafo. El algoritmo se basa en la idea de expandir continuamente el nodo más cercano al origen, actualizando la distancia desde el origen a cada nodo visitado. Es un algoritmo de búsqueda de grafos de tipo "visto" o "no visto".

El algoritmo comienza con el nodo inicial y asigna una distancia de 0 a ese nodo y una distancia infinita a los demás nodos. Luego, selecciona el nodo no visitado con la distancia más corta y marca ese nodo como visitado. A continuación, se actualizan las distancias a los vecinos del nodo visitado si la distancia actual es mayor que la distancia del nodo visitado más la distancia entre los nodos. Este proceso se repite hasta que se visita el nodo de destino.

Algoritmo de Dijkstra es utilizado para resolver problemas de ruta más corta en entornos discretos, es especialmente útil en problemas con grafos ponderados y no negativos. Sin embargo, no es aplicable en problemas con arcos con pesos negativos, ya que puede generar ciclos de costos negativos.

En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo que explica de manera gráfica cómo funciona el algoritmo. En este caso, muestra el camino más corto para cada

nodo “y”, “t”, “x” y “z”, además del coste mínimo desde el nodo inicial “s” hasta cada nodo.

Pseudocódigo

Inputs: Gráfico G con n nodos y costes $c(n_i \rightarrow n_j)$ no negativos entre nodos, nodo inicial v y nodo final w

Output: Lista D que almacena la secuencia de nodos hasta el nodo final con el menor coste posible

Inicialización:

$v.distancia = 0$

$n.distancia = \infty$ para $n \neq v$

Crear lista vacía $D = \emptyset$

$Q =$ Lista de prioridad, añadir cada nodo de G a Q

Loop principal:

While Q no esté vacía:

 Extraer no con menor $n.distancia$ de $Q \rightarrow u$

 If $u = w$

 break

 For cada nodo n vecino de u :

 If $n.distancia > u.distancia + c(u \rightarrow n)$

$n.distancia = u.distancia + c(u \rightarrow n)$

 añadir n a D si no lo está ya

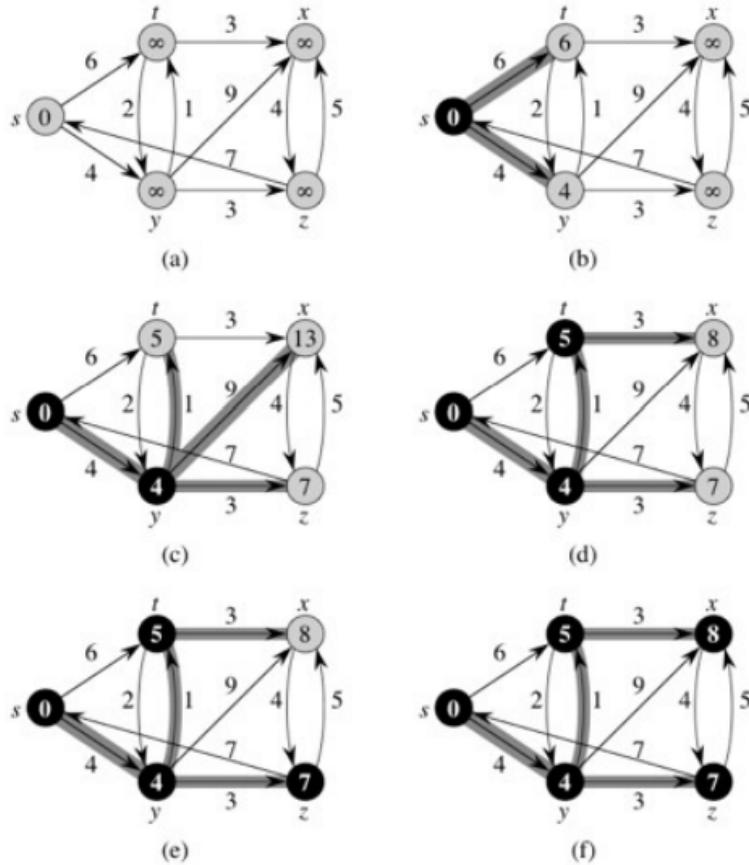


Figura 9: Ejemplo de funcionamiento del algoritmo Dijkstra.

- ALGORITMO DE A*

El algoritmo A* es un algoritmo de búsqueda de grafos que combina la información de la distancia recorrida desde el origen con la distancia estimada hasta el destino para encontrar la ruta óptima. El algoritmo se basa en el algoritmo Dijkstra, pero agrega una función de heurística para estimar la distancia restante hasta el destino, lo que permite encontrar una ruta más eficiente.

La función de heurística utilizada en A* es una función que tiene como objetivo estimar la distancia restante desde un punto actual al destino, y se elige de manera adecuada para el problema específico.

El algoritmo A* se divide en dos partes: abierta y cerrada. El conjunto abierto contiene los nodos que aún no se han visitado y están programados para ser visitados, mientras que el conjunto cerrado contiene los nodos que ya se han visitado. El algoritmo comienza con un solo nodo, el nodo inicial, en el conjunto abierto. En cada paso, el algoritmo selecciona el nodo con la función F^* (costo total estimado) más baja del conjunto abierto y lo mueve al conjunto cerrado. Luego, expande los vecinos del nodo seleccionado, calculando su función F^* y

agregándolos al conjunto abierto si aún no han sido visitados. Este proceso se repite hasta que se encuentra el destino o se agotan los nodos en el conjunto abierto.

Una vez que el destino es alcanzado, el algoritmo reconstruye la ruta óptima utilizando los puntos de referencia de cada nodo que se ha visitado.

El algoritmo A* es ampliamente utilizado en aplicaciones de robótica y navegación de vehículos autónomos debido a su rapidez y precisión. Sin embargo, requiere una gran cantidad de procesamiento y memoria para almacenar todos los nodos y sus costos estimados. Además, la elección de una función heurística adecuada es crucial para el rendimiento del algoritmo.

Pseudocódigo

Inputs: Gráfico G con n nodos y costes $c(n_i \rightarrow n_j)$ no negativos entre nodos, nodo inicial v y nodo final w

Output: Lista D que almacena la secuencia de nodos hasta el nodo final con el menor coste posible

Inicialización:

$f(n) = \infty ; g(n) = \infty$ para cada $n \neq v$

Crear lista vacía $D = \emptyset$

$g(v) = 0; f(v) = h(v, w)$, añadir v a D

$Q = \text{Lista de prioridad}$, añadir cada nodo de G a Q

Loop principal:

While Q no esté vacía:

 Extraer nodo con mínimo $f(n)$ de $Q \rightarrow u$

 If $u = w$

 Break

 For cada nodo n vecino de u :

 If $g(n) > g(u) + c(u \rightarrow n)$:

$g(n) = g(u) + c(u \rightarrow n)$

$f(n) = g(n) + h(n, w)$

 añadir n a la lista D si no lo está ya

Cómo se puede ver en la siguiente imagen, el algoritmo A* visita un número de nodos considerablemente menor que el algoritmo de Dijkstra, por lo que el algoritmo A* será más eficiente computacionalmente ya que, utiliza menos potencia computacional y tarda menos tiempo en obtener los recursos necesarios para desarrollar el camino más corto entre el nodo de partida y el nodo objetivo.

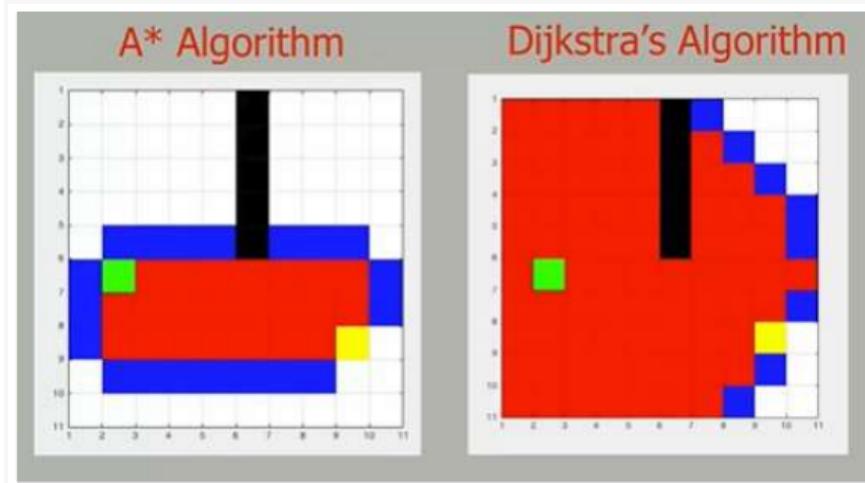


Figura 10: Comparación del algoritmo A* frente al algoritmo de Dijksta.

5.3. Algoritmos de evitación de obstáculos.

Los algoritmos de evitación de obstáculos para drones son un conjunto de técnicas y procedimientos que permiten a un drone detectar y evitar colisiones con objetos en su entorno. Estos algoritmos utilizan sensores, como cámaras, lidar y radar, para detectar obstáculos y calcular una ruta segura para evitarlos.

Navegar de forma autónoma por un entorno con obstáculos es uno de los problemas más desafiantes en el mundo de la robótica. Siendo más desafiante en el caso de los UAVs ya que una colisión provocaría que el UAV se estrellara contra el suelo. El problema se resuelve mediante el uso de algoritmos de planificación de ruta eficientes que calculan una trayectoria eficiente para llegar de un punto a otro mientras se evitan los obstáculos.

Existen varios tipos de algoritmos de evitación de obstáculos, incluyendo:

- Algoritmo de evitación de obstáculos basado en el sistema de navegación por visión: Este algoritmo combina información de una cámara y un sensor IMU para calcular la posición y la orientación del drone con respecto al entorno. Es ampliamente utilizado en aplicaciones de robótica y drones y es conocido por su precisión y estabilidad. Por ejemplo, un método para la detección de obstáculos sería usar el detector de bordes Canny, que ayuda a segmentar

las imágenes en los casos en que existe una clara distinción entre el entorno y los obstáculos. En caso de no existir una clara distinción en el entorno, se puede usar un algoritmo de sustracción de fondo para filtrar los objetos en primer plano de la escena. Esta técnica es efectiva para identificar objetos en

- movimiento en una escena abarrotada.

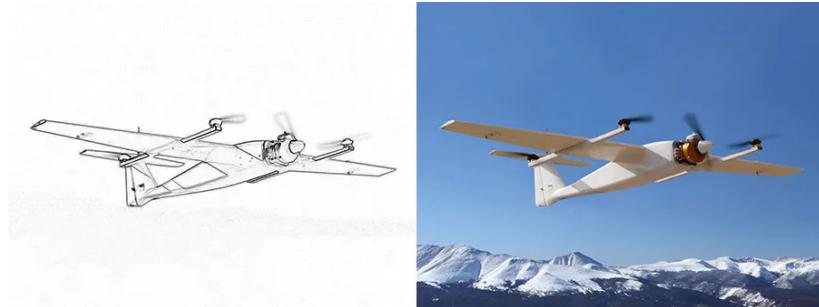


Figura 11: Imagen con un filtro Canny aplicado (izquierda) sobre la imagen original (derecha).



Figura 12: Imagen con algoritmo de sustracción de fondo aplicado (derecha) sobre la imagen original (izquierda).

- Algoritmo de evitación de obstáculos basado en el sistema de navegación por GPS: Este algoritmo utiliza la posición y la velocidad del drone calculadas por el GPS para determinar su trayectoria y calcular una nueva ruta para evitar los obstáculos con respecto al entorno. Es ampliamente utilizado en aplicaciones de navegación aérea y es conocido por su robustez y fiabilidad.

El sistema GPS es un sistema de posicionamiento global que utiliza señales de satélites para determinar la posición y la velocidad de un objeto en la Tierra disponible para cualquier persona y en cualquier lugar. Sin embargo, el sistema puede verse afectado por la interferencia y la obstrucción debido a la construcción, la topografía y la meteorología. Además, el sistema GPS no es tan preciso como otras técnicas de posicionamiento, como visión o lidar.

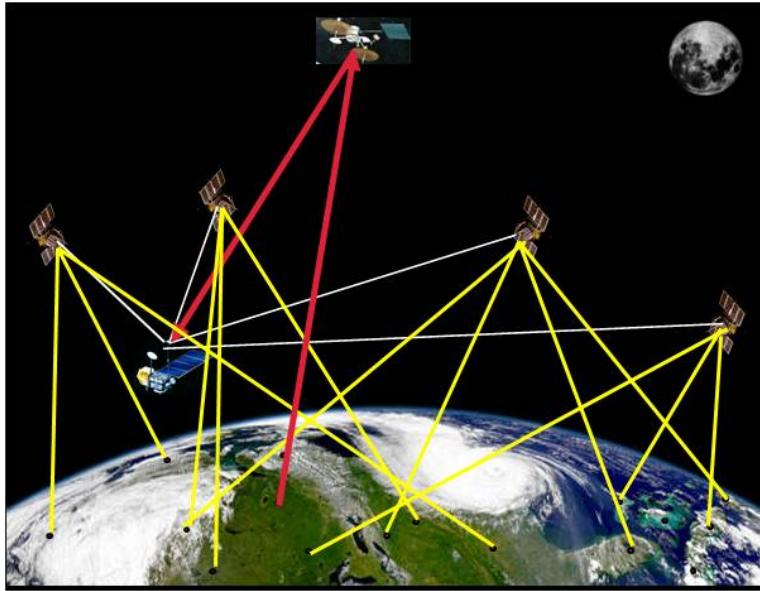


Figura 13: Representación de señales de satélites en la Tierra con las que poder calcular velocidad y posición de un objeto.

- Algoritmo de evitación de obstáculos basado en la nube de puntos de LIDAR: Este algoritmo utiliza un sensor LIDAR para generar una nube de puntos 3D del entorno. Este sensor, consta de un láser para emitir un haz de luz hacia el entorno y medir la distancia de los objetos utilizando el tiempo de vuelo de la luz. El sensor LIDAR puede generar millones de puntos por segundo, lo que permite generar un mapa 3D preciso del entorno.

El algoritmo puede utilizar diferentes técnicas para detectar obstáculos, como la detección de bordes, la segmentación de planos, o la detección de objetos y se utiliza en aplicaciones que requieren una gran precisión y rapidez en la detección de obstáculos, como en la robótica, en la industria automotriz y en drones, ya que es un sensor que puede operar en entornos complejos o con poca luz, pero su precio puede ser un factor limitante.

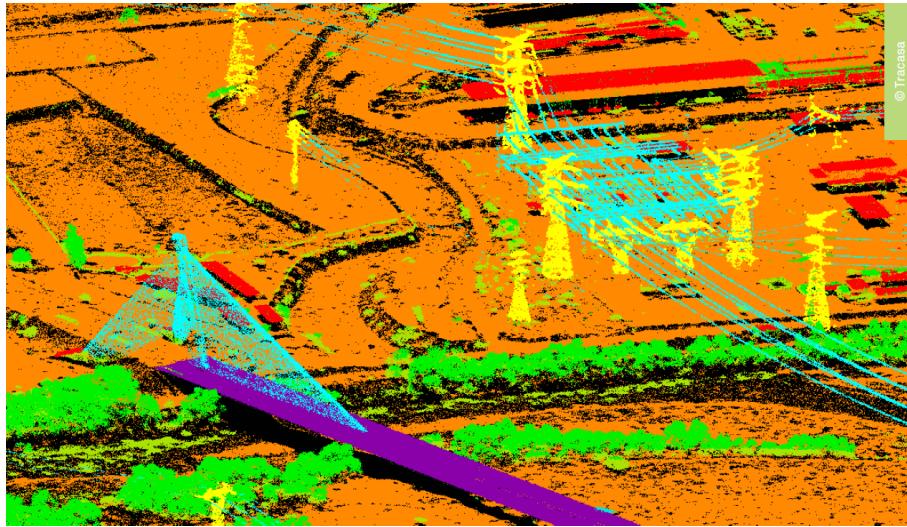


Figura 15: Clasificación de nube de puntos obtenida con el sensor LIDAR en un UAV.

- Algoritmo de evitación de obstáculos basado en el sistema SLAM: Este algoritmo combina una cámara, un sensor IMU y un sensor LIDAR para calcular la posición y la orientación del drone con respecto al entorno y construir un mapa preciso del mismo mientras se evitan los obstáculos.

El sistema SLAM combina la localización (determinar la posición del robot) y la creación de un mapa (construir una representación del entorno) simultáneamente. El algoritmo utiliza información de los sensores para ajustar continuamente la posición del drone y el mapa del entorno, lo que permite al drone "entender" mejor su entorno y evitar obstáculos con mayor precisión.

Este algoritmo es ampliamente utilizado en aplicaciones de robótica y drones y es conocido por su alto nivel de precisión y robustez. Sin embargo, el sistema SLAM es computacionalmente costoso, y requiere un gran procesamiento de datos y un alto poder de cálculo.

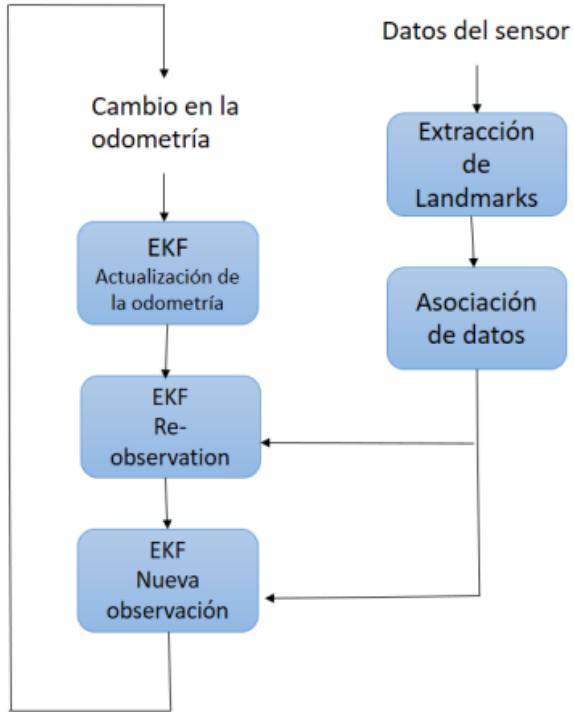


Figura 16: Esquema de funcionamiento del algoritmo SLAM.

Cada uno de estos algoritmos tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, los algoritmos basados en visión pueden proporcionar una gran cantidad de información sobre el entorno, pero pueden ser afectados por la iluminación insuficiente. Mientras tanto, los algoritmos basados en lidar son menos afectados por la iluminación insuficiente, pero son más caros y menos accesibles que los algoritmos basados en visión.

Por tanto, no hay un algoritmo de evitación de obstáculos para drones que sea claramente el más eficiente o mejor en todas las situaciones. Cada algoritmo tiene sus propias fortalezas y debilidades, y la elección del mejor algoritmo dependerá del entorno específico en el que se utilizará el drone y de los objetivos específicos del sistema.

5.4. Algoritmos de seguimiento de objetos.

Seguimiento de objetos mediante Kalman. El filtro Kalman es un algoritmo recursivo que actualiza la proyección lineal de un sistema de variables sobre el conjunto de información disponible, según se va disponiendo de ésta. Una de las aplicaciones de este algoritmo es el seguimiento de objetos.

Primeramente, el sistema físico se modeliza mediante un vector de estados \mathbf{s} . El tiempo de observación tiene la forma:

$$t_k = t_0 + k\Delta T$$

Con $k = 0, 1, 2, \dots$ y ΔT es el intervalo de muestreo. Se define como s_k el estado $s(t_k)$.

Suponiendo que el intervalo de muestreo es pequeño, se tiene un modelo del sistema lineal:

$$\text{Estado: } s_k = (x_k \ y_k \ v_x^k \ v_y^k)^t$$

posición en el instante k : $(x_k \ y_k)$

velocidad en el instante k : $(v_x^k \ v_y^k)$

$$\text{Modelo del sistema: } s_k = \Phi_{k-1} s_{k-1} + \xi_{k-1}$$

$$\begin{pmatrix} x_k \\ y_k \\ v_x^k \\ v_y^k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \\ v_x^{k-1} \\ v_y^{k-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \\ \xi_4 \end{pmatrix}$$

El subíndice $k-1$ en la matriz Φ indica que puede ser función del tiempo, pero en este caso la consideramos constante.

ξ_{k-1} es un vector aleatorio gaussiano blanco de media cero. Modeliza el ruido aditivo.

Lo siguiente a tener en cuenta es el modelo de medida:

$$\text{Modelo de medida: } z_k = H_k s_k + \mu_k$$

$$\begin{pmatrix} z_k^x \\ z_k^y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \\ v_x^k \\ v_y^k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{pmatrix}$$

La matriz H controla el cambio de la estimación y puede ser función del tiempo, aunque en este caso se considera constante.

El vector μ es un vector aleatorio gaussiano blanco de media cero que modeliza el ruido aditivo.

Tenemos, por tanto, un punto que se mueve y se realizan observaciones ruidosas de su posición en cada instante. Dichas observaciones ruidosas deben estar localizadas.

Usamos el filtro de Kalman para estimar las posiciones reales. Primeramente se calcula la matriz de covarianza:

$$P_k' = \phi_{k-1} P_{k-1} \phi_{k-1}^t + Q_{k-1}$$

Después, la ganancia de Kalman:

$$K_k = P_k' H_k^t (H_k^t P_k' H_k + R_k)^{-1}$$

Calculamos la estimación a posteriori (óptima):

$$\underline{s}_k = \phi_{k-1} \underline{s}_{k-1} + K_k (z_k - H_k \phi_{k-1} \underline{s}_{k-1})$$

Y, por último, la matriz de covarianza asociada a la nueva estimación:

$$\begin{aligned} P_k &= P_k' - P_k' H_k^t (H_k^t P_k' H_k + R_k)^{-1} H_k P_k' = P_k' - K_k H_k P_k' \\ &= (I - K_k) P_k' (I - K_k)^t - K_k R_k K_k^t = (I - K_k H_k) P_k' \end{aligned}$$

5.5. Algoritmos de aprendizaje automático y de visión por computador.

Los algoritmos de aprendizaje automático y de visión por computador son esenciales para el funcionamiento de los drones. Los algoritmos de aprendizaje automático se utilizan para permitir que el drone tome decisiones y realice tareas de forma autónoma, mientras que los algoritmos de visión por computador le permiten al drone percibir y comprender su entorno.

Un ejemplo de algoritmo de aprendizaje automático es el algoritmo Q-learning. Es un algoritmo que se utiliza para resolver problemas de toma de decisiones en sistemas de control de drones, es una técnica de aprendizaje por refuerzo. Es una variante de la programación de valor de función, que busca aprender una función de valor $q(s,a)$ que asocie a cada par estado-acción una recompensa esperada.

El algoritmo Q-learning funciona mediante la exploración y la explotación de diferentes acciones en un entorno dado, y mediante la asociación de una recompensa a cada acción tomada. El drone utiliza esta información para aprender qué acciones son más probablemente para llevar a una recompensa mayor, y ajusta su comportamiento en consecuencia.

En general, el algoritmo Q-learning permite al drone aprender de forma autónoma a través de la experiencia, y adaptarse a su entorno para maximizar la recompensa obtenida. Esto es especialmente útil en entornos inciertos o cambiantes, donde el comportamiento óptimo puede cambiar con el tiempo.

Z. Yijing, Z. Zheng, Z. Xiaoyi and L. Yang, "Q learning algorithm based UAV path learning and obstacle avoidance approach," *2017 36th Chinese Control Conference (CCC)*, Dalian, China, 2017, pp. 3397-3402, doi: 10.23919/ChiCC.2017.8027884.

6. Aplicaciones y desarrollo en el futuro.

Los drones y robots voladores han experimentado un gran avance en los últimos años, y su potencial de aplicación es vasto e inmenso. Actualmente, están siendo utilizados en una variedad de campos, incluyendo logística y transporte, agricultura, minería, construcción, inspección industrial, vigilancia, fotografía y filmación.

En **logística y transporte**, los drones están siendo utilizados para entregar paquetes de manera rápida y eficiente, lo que reduce los costos y el tiempo de entrega, aunque esto aún no está del todo extendido y tan solo empresas grandes como Amazon y DHL cuentan con este tipo de servicios en ciertos lugares. Los drones también se están utilizando en la **agricultura** para realizar labores de riego, fertilización y control de plagas, y en la **minería** para realizar inspecciones de las instalaciones y las condiciones del terreno. En la **construcción**, los drones se utilizan para realizar inspecciones de los edificios y para el monitoreo del progreso de los trabajos. En el **campo** de la inspección industrial, los drones se están utilizando para revisar las condiciones de las instalaciones de líneas de transmisión, torres de telecomunicaciones y plataformas petrolíferas. En la **vigilancia**, los drones están siendo utilizados para vigilar las fronteras, las instalaciones críticas y los eventos públicos, lo que ayuda a reducir los costos y aumenta la eficacia de la seguridad. Los drones también están siendo utilizados en la **fotografía y filmación** para capturar imágenes y videos desde perspectivas y ángulos inaccesibles para los humanos. Otro sector en el que están muy presentes es en el **sector militar** en el cual podemos encontrar desde drones de espionaje tanto como drones de combate tales como los MQ-9 Reaper.



Imagen 17: Dron de combate MQ-9 Reaper.

En el futuro, se espera que los drones y robots voladores tengan un papel aún más importante en una variedad de campos, incluyendo la medicina, la seguridad ciudadana, el transporte urbano y la exploración espacial. Los drones podrían utilizarse para llevar a cabo tareas de rescate y búsqueda, transportar suministros médicos y medicamentos a áreas remotas, y ayudar a las personas mayores y discapacitadas en sus actividades cotidianas.

En general, los drones y robots voladores tienen el potencial de revolucionar la forma en que realizamos nuestras tareas diarias, mejorar la eficiencia y reducir los costos, y abrir nuevas oportunidades y posibilidades..

7. Conclusión.

En conclusión, los drones y robots voladores han experimentado un gran avance en los últimos años, y su potencial de aplicación es vasto e inmenso. Se han discutido diferentes aspectos de esta tecnología, desde el hardware y los algoritmos que la impulsan, hasta los diferentes tipos de drones y robots voladores existentes, así como ejemplos y aplicaciones actuales.

Sin embargo, es importante considerar los aspectos legales y de seguridad alrededor de su uso y regulación para garantizar un uso seguro y responsable de esta tecnología que a día de hoy se encuentra en desarrollo no sólo en términos tecnológicos sino también legales. Es necesario establecer un marco regulatorio adecuado para asegurar el cumplimiento de las normas de seguridad, evitar incidentes innecesarios, y aprovechar al máximo el potencial de los drones y robots voladores.

En resumen, la tecnología de los drones y robots voladores tiene un gran potencial para mejorar la eficiencia y reducir los costos, y abrir nuevas oportunidades y posibilidades. Sin embargo, es esencial continuar investigando y desarrollando esta tecnología para aprovechar al máximo su potencial, mientras se tienen en cuenta los aspectos legales y de seguridad necesarios.

8. Referencias.

- <https://www.embention.com/es/news/deteccion-de-obstaculos-con-vision-y-us-vs/>
- https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/54393/TFM_PatriciaL%C3%B3pezTorres.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- <https://filmora.wondershare.es/drones/drone-applications-and-uses-in-future.html>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221721005361>
- <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/45560>
- <https://www.agriexpo.online/es/prod/aermatica3d-srl-aermatica3d/product-179878-139980.html>
- <https://elvuelodeldrone.com/drones-profesionales/drones-industriales/drone-de-ala-fija-delair-ux11/>
- <https://www.areadron.com/historia-y-evolucion-dron/>
- <https://www.ibericadron.com/tienda/yuneec/firebird/dron-ala-fija-firebird-yuneec/>
- <https://arduproject.es/control-de-estabilidad-y-pid/>

- <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/22690/436608.pdf?sequence=1>
- <https://umilesgroup.com/tipos-de-drones/>
- <https://aerocamaras.es/clases-de-drones-segun-la-nueva-normativa-europea/>